

Compenserende maatregelen bij grondwateronttrekking

1. Inleiding

Op het beschikbare grondwater wordt door diverse belangengroepen aanspraak gemaakt, zoals de landbouw, natuur, landschap, industrie en drinkwatervoorziening. Een te grote onttrekking van het grondwater kan resulteren in een belangrijke daling van de grondwaterstand, dikwijls gepaard gaande met schade aan één of meer van de belanghebbenden. Teneinde zulk een daling op te kunnen heffen, zullen compenserende maatregelen moeten worden getroffen en wel zodanig dat de diverse bij het water betrok-

8. *Berekening vanuit putten of leidingen* — deze vorm van watervoorziening komt in aanmerking op gronden die zodanige waterverliezen, verschillen in hoogte en verspreide ligging over het gebied vertonen, dat wateraanvulling via een open leidingstelsel te moeilijk of te kostbaar wordt.

9. *Ontwatering door middel van wateronttrekking aan diepe putten* — in gronden die te nat zijn kan een verlaging van de grondwaterstand worden bewerkstelligd door te pompen in plaats van te draineren met open leidingen of buizen.

De punten 1 t/m 4 zijn elders reeds uitvoerig behandeld: zie hiervoor bijvoorbeeld artikelen in de 17e Vakantiecursus Drinkwatervoorziening (1965) en in no. 16 van de Verslagen en Mededelingen van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO (1975). Daarom zal in het verdere betoog voornamelijk aandacht worden geschonken aan de middelen genoemd onder de punten 5 t/m 9.

2. Infiltratie vanuit open waterlopen

2.1. Landbouwkundige toepassingen en aspecten

Voor het bereiken van een maximale productie van gewassen kunnen we twee limiterende grondwaterstandsdiepten onderscheiden. Er is een bovengrens die een vochtgehalte garandeert dat voldoende laag is voor een goede bewerkbaarheid in voor- en najaar, een juiste temperatuur, en voor een goede lucht- en stikstofhuishouding tijdens het groeiseizoen; een ondergrens wordt gesteld door de eisen aangaande de waterbehoefte van het gewas. De optimale grondwaterstandsdiepte zal tussen deze twee grenzen liggen. Teneinde in droge

perioden een dergelijke grondwaterstand te realiseren kan infiltratie worden toegepast. Dit gebeurt door in de leidingen een peil te handhaven dat hoger ligt dan het gewenste grondwaterpeil, zodat water in de grond zijgt en daling van de grondwaterstand wordt verhinderd. De wortels van de gewassen kunnen dan behalve uit de wortelzone voldoende water via capillaire opstijging onttrekken om in de verdampingsbehoefte van de planten te voorzien. Uitgangspunt voor de toepassing van infiltratie vormt de droogtegevoeligheid van het profiel en het gewas. Naarmate er een sterkere opbrengstdaling is bij diepere grondwaterstanden (afb. 1) zal infiltratie meer effect hebben. Om infiltratie in de praktijk te doen slagen moet er aan een aantal voorwaarden worden voldaan:

- de grond moet een goede doorlatendheid bezitten en uniform zijn;
- er moet op 1,5 m diepte of hoger een natuurlijke grondwaterstand aanwezig zijn, of een slecht doorlatende laag in de ondergrond ter beperking van wegzijgingsverliezen naar beneden;
- het maaiveld moet vlak zijn of slechts een lichte helling vertonen;
- er moet een systeem van leidingen zijn om het water te kunnen aanvoeren en te verdelen;
- in verband met wisselingen in weersgesteldheid moet het mogelijk zijn om van aanvoer op afvoer over te schakelen en omgekeerd;
- het aan te voeren water moet beschikbaar zijn, goedkoop zijn en van zodanig goede kwaliteit dat de jaarlijkse neerslag in staat is eventueel opgehoopte zouten in het profiel uit te spoelen.

Voorbeeld-gebieden in Nederland die aan bovenstaande voorwaarden voldoen zijn de duinzandgronden in de bloembollenstreek, de grove, slib- en humusarme tot fijne zandgronden in de Wieringermeer en de Noord-oostpolder, en de veen en klei op veengebieden in Midden West-Nederland en Friesland.

In de bloembollenstreek is door afgraving van duinzandgronden het maaiveld op de gewenste hoogte boven de grondwaterstand gebracht. Water wordt aangevoerd door brede sloten, waarvan de wanden zo doorlatend zijn dat de grondwaterstand vrijwel gelijk is aan het peil in de sloot. Het blijkt dat onder optimale vochtomstandigheden (grondwaterstand ongeveer 45 cm - mv) aan de waterbehoefte van bijv. het gewas tulpen bij zeer verschillende plantdichtheden altijd voldaan kan worden. Wordt een diepere grondwaterstand gehandhaafd, bijv. 85 cm - mv, dan treden er reducties in



DR. R. A. FEDDES
Instituut voor Cultuurtechniek
en Waterhuishouding

ken belangen optimaal worden gediend. Daartoe staan een aantal middelen ter beschikking zoals:

1. *Oeverinfiltratie* — middelen tot grondwaterwinning worden op korte afstand van open waterlopen in doorlatende formaties geplaatst.

2. *Oppervlakte-infiltratie* — het aan te voeren water kan vanuit greppels, kanalen, bassins of vijvers door de doorlatende bovengrond naar beneden wegzakken en zo het grondwater voeden (bijv. duininfiltratie).

3. *Diepte-infiltratie* — water wordt met behulp van putten door een slechte doorlatende bovengrond in de onderliggende watervoerende laag geperst.

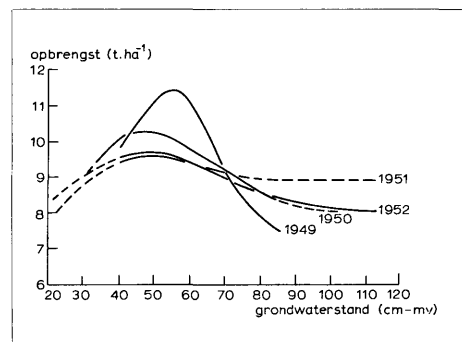
4. *Open voorraadvorming* — een voorraad water wordt aangelegd door de bouw van kunstmatige reservoirs (spaarbekkens).

5. *Infiltratie vanuit open waterlopen* — door de infiltratie wordt de grondwaterstand in het veld kunstmatig op peil gehouden zodat enerzijds een voldoende hoeveelheid water via capillaire opstijging aan het gewas ten goede kan komen en anderzijds meer water naar de diepe ondergrond weg kan zijgen om eventueel later te kunnen worden onttrokken.

6. *Grondverbetering* — door middel van diepe grondbewerking kan in sommige gevallen de dikte van de voor beworteling toegankelijke bodemlaag, en daarmee het vochthoudend vermogen van de grond worden vergroot.

7. *Conservering van grondwater* — in hellende gebieden kan door de aanleg van stuwen in leidingen (beken) de afstroming van het grondwater worden vertraagd.

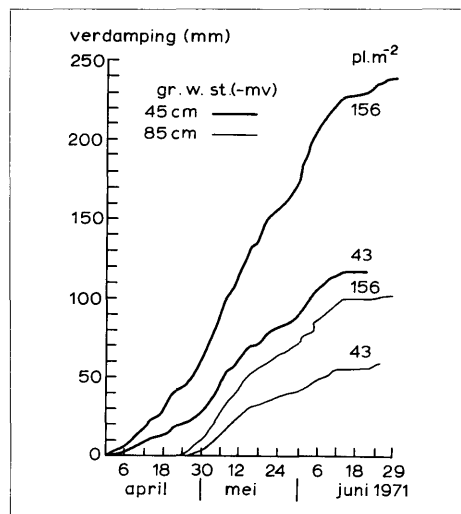
Afb. 1 - Verband tussen de jaaropbrengst aan droge stof van grasland op klei-op-veengrond (kleilaag 20 - 40 cm) en de gemiddelde grondwaterstand in de periode 15 juni - 23 augustus in de omgeving van Kuinre, 1949 - 1952. Bij een grondwaterstand van 30 cm -mv bedroeg de opbrengstverlaging in 1949 t/m 1952 achtereenvolgens 27, 13, 8 en 9 % van de hoogste opbrengsten in de betrokken jaren, terwijl bij een grondwaterstand van 100 cm -mv deze respectievelijk 41, 21, 7 en 7 % was (naar Sieben en Smits, 1969).



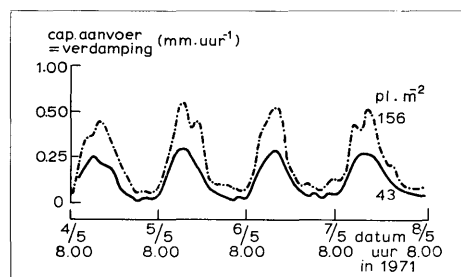
verdamping (en dus ook in opbrengst) op (zie afb. 2). In afb. 3 is te zien dat bij de grondwaterstand van 45 cm - mv de dagelijkse gang van de fluktuaties in capillaire aanvoer overeenkomen met de plantdichtheden, dat wil zeggen met de verdampingspotenties van het gewas. Het blijkt dat het profiel praktisch niet uitdroogt, dat de capillaire aanvoer de dagelijkse fluktuatie in de verdampingsvraag van de atmosfeer kan bijhouden en dat in dergelijke situaties geldt: infiltratie = capillaire aanvoer = verdamping (Van der Valk, 1971). Bij dit alles is een nauwkeurige peilbeheersing belangrijk, aangezien een iets te hoge of te lage grondwaterstand directe gevolgen heeft op de opbrengst (zie ook afb. 1 voor het jaar 1949). De zandgronden in de Wieringermeer en de Noordoostpolder liggen voornamelijk in gras. In de laatste polder vindt infiltratie vanuit de opgestuwde sloten in de percelen plaats via drainbuizen die rechtstreeks (Vollenhove systeem) dan wel bloksgewijs (Rampspol systeem) in sloten uitmonden (Kalisvaart, 1957). De buizenreeksen zijn horizontaal gelegd en monden minstens 10 cm onder de aan te houden slootwaterstand uit. (Teneinde in de winter een goede ontwatering te verkrijgen worden ze ook vaak dieper gelegd, bijv. 80 cm - mv in grof zand en 100 cm - mv in veen op zand). Het infiltratiesysteem is zodanig ontworpen dat genoemd 10 cm drukverschil een aanvoer van 4 mm . dag⁻¹ kan bewerkstelligen. Indien ook wegzijgingsverliezen moeten worden gecompenseerd, zal het peil in de sloten hiervoor extra moeten worden verhoogd. In de praktijk neemt men aan dat op deze wijze verliezen tot 5 mm . dag⁻¹ nog te compenseren zijn. In afb. 4 wordt een overzicht van de wateraanvoer in het Rampspolgebied (1200 ha) gedurende de maanden april t/m oktober van het droge jaar 1959 en het normale jaar 1962 gegeven. Het blijkt (afb. 4A) dat de maximale infiltratie 6 mm . dag⁻¹ bedroeg in 1959 en 4,8 mm . dag⁻¹ in 1962. De gemiddelde infiltraties in deze jaren waren respectievelijk 3,3 en 2,0 mm . dag⁻¹. De gemiddelde afvoeren bedroegen 0,9 en 1,4 mm . dag⁻¹. Het blijkt dat behalve in de maanden april en mei 1959 er geen watertekorten zijn opgetreden (afb. 4B). De lage veen en klei op veengraslanden in Midden West-Nederland en Friesland lenen zich ook uitstekend voor infiltratie. In het algemeen geldt dat grasland door zijn ondiepere beworteling en langere groeiperiode meer waterbehoefstig is dan bouwland. In genoemde poldergebieden worden hoge polderpeilen gehandhaafd van enige tientallen centimeters onder maaiveld. Onder invloed van de verdamping gaat de grondwaterstand dalen en daardoor neemt tengevolge van het toenemende drukhoogte-

verschil, de infiltratie toe. De hoeveelheid water die infiltreert hangt af van het aanwezige stijghoogteverschil, de afstand tussen de sloten, de doorlatendheid, de capillaire

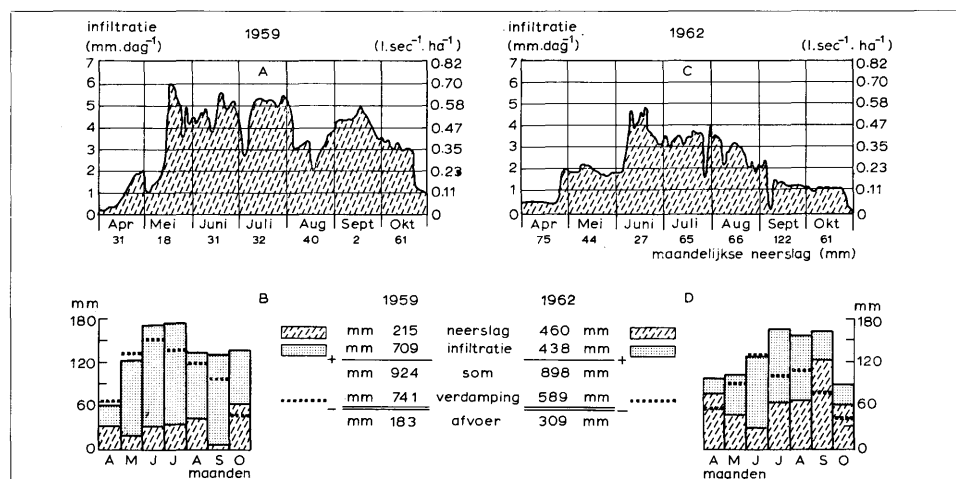
Afb. 2 - Verdamping van tulpen 'Lustige Witwe' op een duinzandgrond voor twee plantdichtheden bij een grondwaterstand van 45 cm (optimale vochtomstandigheden) en van 85 cm -mv (naar Van der Valk, 1971).



Afb. 3 - Dagelijks verloop van de capillaire vocht-aanvoer van enkele dagen rond de bloei van tulpen 'Lustige Witwe' voor twee plantdichtheden bij een grondwaterstand van 45 cm -mv (naar Van der Valk, 1971).



Afb. 4 - Infiltratiesnelheden in het droge seizoen 1959 (A) en in het normale seizoen 1962 (C) voor grasland op zandgrond in het 1.200 ha grote Rampspolgebied in de Noordoostpolder. Tevens zijn de onderlinge verdeling tussen neerslag, infiltratie, verdamping en afvoer gedurende deze perioden weergegeven (B, D) (Bron: Rijksdienst IJsselmeerpolders).



eigenschappen van het profiel en de verdampingsvraag. In droge zomers is het verdampingstekort ongeveer 2 mm . dag⁻¹ en de grondwaterstand zakt in veengronden dan weg tot 80 à 100 cm -mv om daarna op dit niveau te blijven. De ingebouwde remmen die in dit systeem een goede watervoorziening belemmeren, kunnen liggen in de slechte capillaire eigenschappen van het profiel en/of in de instromingsweerstand die langs de wanden en bodem van de sloot optreedt als gevolg van afzetting van slib en organische stoffen (slootwandeffect). Door Rijtema (1968) wordt gesteld dat bij een perceelsbreedte van 80 m, een slootpeil van 20 cm en een grondwaterstand van 80 cm - mv in dit gebied een maximale infiltratie van 1,7 mm . dag⁻¹ plaats kan vinden. Uit analyses van waterbalansen van polders in West-Nederland blijkt dat ongeveer 20 % van de totale inlaat wordt gebruikt voor polderpeilbeheersing (rest voor doorspoeling) hetgeen overeenkomt met een gemiddelde werkelijke infiltratie van ongeveer 0,5 - 1 mm . dag⁻¹.

Het bezwaar van het handhaven van hoge polderpeilen is dat onder natte omstandigheden de draagkracht van de zode ernstig wordt beperkt. In de zomer is de draagkracht van betekenis voor eventuele verliezen bij beweiding en ruwvoederwinning. In het najaar bepaalt de draagkracht tevens de lengte van het weideseizoen. Door Van Wijk en Feddes (1975) is met inachtneming van het voorgaande via een modelmatige aanpak de relatieve droge stof-opbrengst van gras op veen als functie van de ontwateringsdiepte in het voorjaar berekend. Daar blijkt de optimale voorjaargrondwaterstand bij 80 cm - mv te liggen. Ook het onderzoek voor de Lopikerwaard (Studiegroep Lopikerwaard, 1974) kwam tot de aanbeveling het polderpeil hier tot 80

cm - mv te verlagen. Infiltratie is dan van weinig praktisch belang meer.

2.2. Theoretische achtergronden

Tot nu toe is in dit stuk voornamelijk aandacht besteed aan infiltratie ten behoeve van de landbouw. Het is echter ook mogelijk om daarnaast een aanvullende hoeveelheid water in de diepe ondergrond te brengen ten gunste van bijv. de drinkwatervoorziening. Voor een nadere beschrijving van de grootheden die bij infiltratie in zo'n geval een rol spelen gaan we uit van de waterbalansvergelijking aan de hand van het schema in afb. 5.

Het infiltrerende water legt een weg af die is onder te verdelen in verschillende afdelingen, hier blokken genaamd. Indien Q ($\text{m}^3 \cdot \text{dag}^{-1}$) de aangevoerde hoeveelheid water aan het begin van het infiltratiegebied is (inlaat minus uitlaat), dan kan de waterbalansvergelijking per strekkende meter sloot worden geschreven als (afb. 5, blok 4):

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + B \frac{dh_0}{dt} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{dag}^{-1}) \quad (1)$$

waarin:

Q_0 = Q/G = infiltratie vanuit de sloot naar het grondwater (dus stroming door bodem en taluds)

G = lengte van de sloot (m)

Q_1 = hoeveelheid water die boven het aangegeven scheidingsvlak verdwijnt

Q_2 = hoeveelheid water die beneden het aangegeven scheidingsvlak verdwijnt

B = breedte van het wateroppervlak (m)

h_0 = peil van het open water in de sloot (m)

t = tijd (dagen)

$B \frac{dh_0}{dt}$ = bergingsverandering van het open water

Indien we de stroming alleen in één dimensie (vertikale richting) willen bekijken, dienen we de stromingscomponenten in verg. (1) te delen door de afstand tussen de sloten L (m), zodat verg. (1) dan overgaat in:

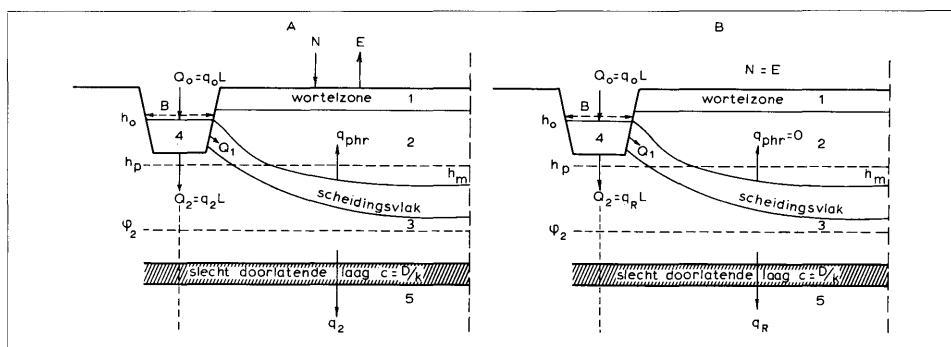
$$q_0 = q_{fr} + q_2 + \frac{B}{L} \frac{dh_0}{dt} \quad (\text{m} \cdot \text{dag}^{-1}) \quad (2)$$

waarin:

$q_0 = Q_0/L$ = flux door bodem en taluds van de sloot (dus infiltratie per eenheid van oppervlak)

$q_{fr} = Q_1/L$ = flux door het freatisch oppervlak (positief in opwaartse richting)

$q_2 = Q_2/4$ = flux door de slecht doorlatende laag (positief in benedenwaartse richting)



Afb. 5 - Blokschema ten behoeve van het opstellen van de vergelijking van de waterbalans bij infiltratie vanuit open leidingen: A: algemeen; B: evenwichtstoestand.

Wordt gewerkt met een constant peil in de sloten, dan kunnen we de bergingsverandering van het open water (laatste term van verg. 1 en 2) verwaarlozen.

Voor blok 3 in afb. 5 geldt nu:

$$q_0 = \frac{h_0 - h_m}{Y} \quad (\text{m} \cdot \text{dag}^{-1}) \quad (3)$$

waarin:

h_m = stijghoogte van het freatisch oppervlak in het midden van het perceel (m)

Y = drainageweerstand (dagen)

Uit verg. (3) blijkt dat bij v constant er een rechtlijnig verband moet bestaan tussen $(h_0 - h_m)$ en q_0 .

Overeenkomstig Ernst (1962) kan de drainageweerstand worden opgesplitst in twee componenten, namelijk de weerstand voor radiale stroming en de weerstand voor horizontale stroming:

$$Y = Lw + \frac{L^2}{8kD} \quad (\text{dagen}) \quad (4)$$

waarin:

w = radiale weerstand ($\text{dag} \cdot \text{m}^{-1}$)

k = doorlatendheid bij horizontale stroming in het verzadigde pakket ($\text{m} \cdot \text{dag}^{-1}$)

D = gemiddelde dikte van de watervoerende laag (m)

L = afstand tussen de sloten (m)

Bij homogeen doorlatende grond en kleine hoogteverschillen in het freatisch oppervlak, geldt voor de radiale weerstand (Ernst, 1962):

$$w = \frac{1}{\pi k} \ln \frac{D_0}{B_w} \quad (\text{dag} \cdot \text{m}^{-1}) \quad (5)$$

waarin:

D_0 = dikte van de watervoerende laag bij de sloot (m)

B_w = (half cirkelvormige) natte omtrek van de open leiding (m)

De radiale weerstand hangt daarbij vooral af van het quotient q_0/kB_w (Ernst, 1962; fig. 28).

Indien $D_0 > B_w$ en de grond is niet homogeen, is het beter om van een iets gewijzigde vergelijking dan verg. (5) uit te gaan (Ernst, 1962):

$$w = \frac{1}{\pi k'} \ln \frac{4 D_0}{\pi B_w} \quad (\text{dag} \cdot \text{m}^{-1}) \quad (5a)$$

waarin:

$k' = \sqrt{k \cdot k_y}$

en k_y de doorlatendheid bij vertikale stroming.

Voor de blokken 1 en 2 in afb. 5 geldt de balansvergelijking:

$$q_{fr} = E - N - \frac{dM}{dt} \quad (\text{m} \cdot \text{dag}^{-1}) \quad (6)$$

waarin:

E = verdampfingsflux door het maaiveld

N = flux van de neerslag door het maaiveld

M = hoeveelheid water onttrokken per eenheid van horizontaal oppervlak aan de grond boven het freatisch oppervlak

$$M = - \int_0^z \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial \theta}{\partial t} dt dz \quad (\text{m})$$

Verg. (6) in de uiteindelijk gebruikte vorm geschreven, geeft dan:

$$q_{fr} = E - N + \int_0^{z_s} \frac{\partial \theta}{\partial t} dz \quad (6a)$$

waarin:

z_s = hoogte van het maaiveld

Voor de blokken 3 en 5 geldt de betrekking:

$$q_2 = \frac{h_p - \Phi_2}{c} \quad (\text{m} \cdot \text{dag}^{-1}) \quad (7)$$

waarin:

h_p = gemiddelde stijghoogte van het freatisch oppervlak over het perceel (m)

Φ_2 = stijghoogte van het diepe grondwater (m)

c = verticale weerstand van de slecht doorlatende laag (dagen)

De gemiddelde grondwaterstand h_p kan worden berekend uit:

$$h_p = h_0 + \alpha_{fr} (h_m - h_0) \quad (8)$$

waarin:

α_{fr} een reductiecoëfficiënt is afhankelijk van de vorm van de grondwaterspiegel.

Is de vorm van de grondwaterspiegel een parabool dan is $\alpha_{fr} = 2/3$, voor een sinus is $\alpha_{fr} = 2/\pi = 0,64$ en voor een ellips is $\alpha_{fr} = \pi/4 = 0,79$.

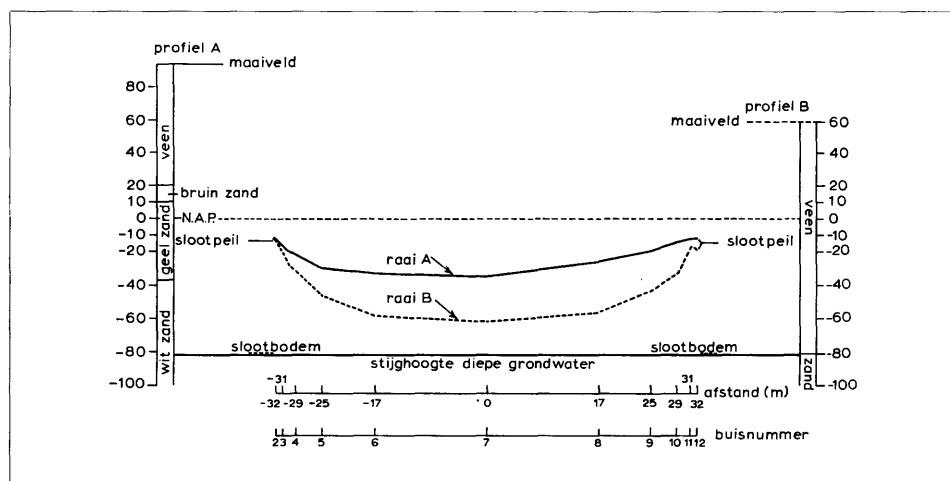
2.3. Proefobjecten

2.3.1. Infiltratieproefveld 'De Groeve'

Teneinde de invloed van een uitbreiding van de grondwaterwinning van het pompstation 'De Groeve' op het freatisch water na te gaan en via metingen de grootte van de voeding van het grondwater door het oppervlaktewater vast te kunnen stellen, is een infiltratieproefveld van 15,9 ha aangelegd. Dit proefveld is van de rest van het gebied afgesloten door middel van het afdammen van een aantal sloten.

De waterstand in de sloten van het proefveld wordt op een zodanig peil gehouden dat dit binnen zeer nauwe grenzen overeenkomt met dat van de omgeving. Daalt het peil in het proefveld beneden dat van de omgeving dan wordt een geregistreerde hoeveelheid water ingelaten. Deze ingelaten hoeveelheid water vormt dan een directe maat voor de infiltratiecapaciteit van het slotenstelsel. Bij een te hoog peil van de slootwaterstand in het proefveld in vergelijking tot dat in de omgeving, wordt het water uitgeslagen en eveneens geregistreerd. Teneinde de veranderingen van het vochtgehalte in verschillende profielen vast te stellen zijn op een tweetal plaatsen vochtmetingen verricht. Daar de neerslag is gemeten, en de verdamping kon worden berekend, bleef als enige onbekende in de waterbalans het verlies aan water tengevolge van wegzijging naar de ondergrond over. Voor verdere informatie zie Feddes en Van Steenberg (1973).

In afb. 6 zijn voor de periode 18/4 - 19/9 1972 de gemiddelden van de gemeten grondwaterstanden in twee raaien, A en B, van het infiltratieproefveld weergegeven. Raai A ligt in een moerpodzolgrond en raai B in een koopveengrond. Het blijkt dat er een duidelijk verschil in vorm van de grondwaterspiegels tussen de raaien A en B bestaat, en dat de grondwaterspiegel van raai B meer is uitgezakt en een symmetrischer verloop heeft dan die van Raai A. In tabel I is een overzicht gegeven van de voornaamste hydrologische constanten die

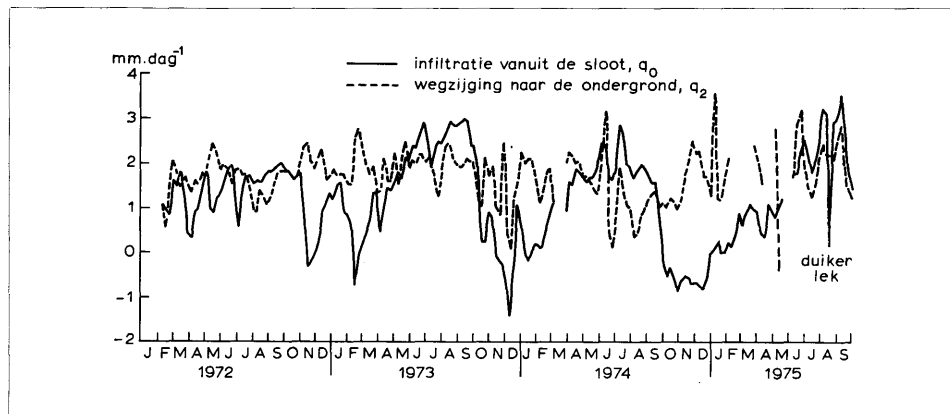


Afb. 6 - De gemiddelde hoogte van het freatisch oppervlak gedurende de periode 18-4-1972 - 19-9-1972 in respectievelijk profiel A en B van het infiltratieproefveld 'De Groeve'.

TABEL I - Overzicht van de waarden van de voornaamste hydrologische constanten.

	T (dagen)	α_{fr}	c (dagen)	kD (m ² · dag ⁻¹)	w (dag · m ⁻¹)	D (m)	k (m · dag ⁻¹)	k_v (m · dag ⁻¹)	k' (m · dag ⁻¹)
raai B	340	0,79	189	5,6	3,16	10,0	0,56	0,056	0,177
raai A	252	0,64	731	6,0*	2,7*	9,5*	0,63*	0,063*	0,20*

* Deze resultaten zijn berekend voor de linkerhelft van raai A.

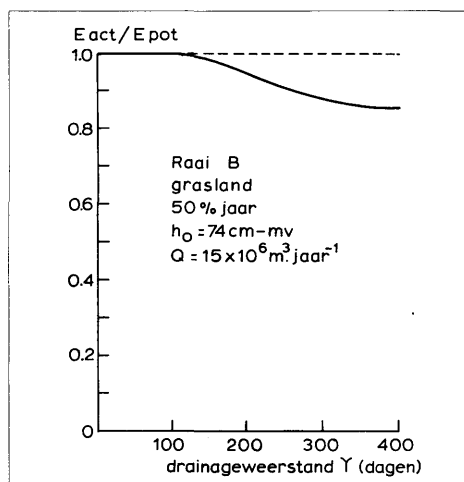


Afb. 7 - Verloop van de infiltratie per eenheid van oppervlak en de flux door de slecht doorlatende laag gedurende een aantal jaren in een koopveengrond (profiel B) van het infiltratieproefveld 'De Groeve'.

gelden voor respectievelijk de raaien A en B. Het verschil in vorm van de grondwaterspiegels in profiel A en B komt tot uitdrukking in de waarden voor w en γ die groter zijn voor B dan voor A. Gezien het grote verschil in c -waarden blijkt dat de ondergrond zeer heterogeen van samenstelling is. De gelaagdheid in de bovenste lagen van het profiel komt tot uitdrukking in het verschil tussen de horizontale en verticale doorlatendheden. In afb. 7 zijn de infiltratie en wegzijgingssnelheden weergegeven voor profiel B gedurende de jaren 1972/1975. Het blijkt dat een infiltratie tot 3 mm · dag⁻¹ vanuit de sloten mogelijk was in zeer droge perioden en bij grote hoeveelheden gewonnen drinkwater. Een deel van het infiltratie-

water komt ten goede aan de waterwinning (q_2), een ander deel i.e. het verschil tussen infiltratie en wegzijging ($= q_0 - q_2$) aan de plant. Zowel hoeveelheden als onderlinge verdelingen hangen af van de verdampingsintensiteit, de waterwinning en de heersende grondwaterstanden. Uit afb. 7 wordt duidelijk dat tijdens de winterperioden slechts gedurende relatief korte tijdsduren afvoer plaats vindt.

Op grond van de bewerkingsresultaten van de verzamelde gegevens is nagegaan wat het vochtleverend vermogen van de grond is in jaren met verschillende droogtekansen. Hierbij zijn naast verschillende doorlaat te handhaven slootwaterstanden ook verschillende onttrekkingshoeveelheden en

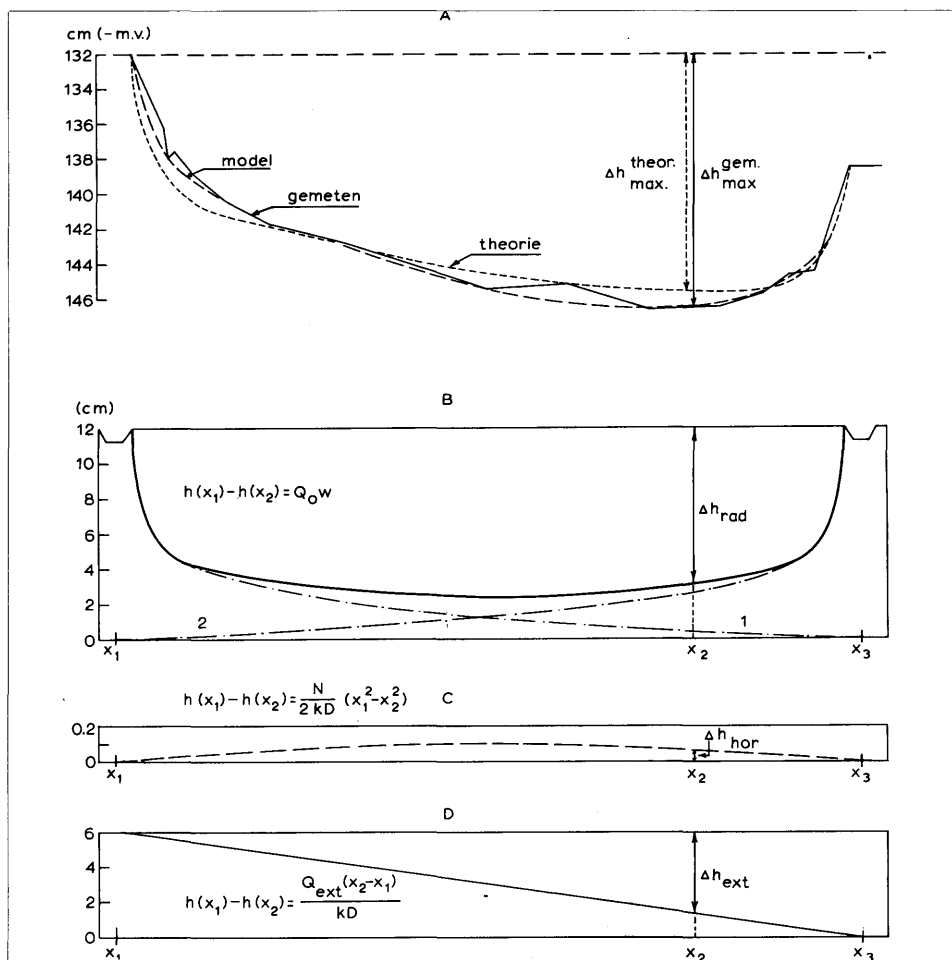


Afb. 8 - De berekende relatieve verdamping van grasland op koopveengrond (profiel B) van het infiltratieproefveld 'De Groeve' als functie van de drainageweerstand gedurende een gemiddeld jaar bij een constante slootwaterstand van 74 cm -mv en een onttrekking door het pompstation van $15 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{jaar}^{-1}$ (naar Siebering, 1974).

drainageweerstanden gesteld. Afb. 8 geeft een voorbeeld van de reductie in verdamping van grasland op koopveen (profiel B) gedurende een gemiddeld jaar wanneer de slootwaterstand op 74 cm - mv wordt gehouden en de onttrekking door het pompstation 'De Groeve' $15 \text{ miljoen m}^3 \cdot \text{jaar}^{-1}$ bedraagt bij een aantal verschillende drainageweerstanden. Het blijkt dat bij het huidige slootpeil en drainageweerstand Y van 340 dagen van het slotenstelsel te hoog is om met behulp van infiltratie water tekorten te voorkomen. Men kan dit probleem oplossen door de waterpeilen in de sloten te verhogen. Een andere mogelijkheid is de drainageweerstand tot 100 dagen terug te brengen. Uit verg. (4) blijkt dat dit kan door bijv. de faktor L (de afstand tussen de sloten) terug te brengen of, met andere woorden, een buizendrainage aan te leggen. Aannemende dat een dergelijk systeem een radiale weerstand $w = 5$ dagen $\cdot \text{m}^{-1}$ heeft (Van Someren, pers. meded.), dan volgt uit substitutie in verg. (4) van $kD = 5.6$ en $Y = 100$, dat $L = 18.5 \text{ m}$, dus $L \approx 20 \text{ m}$.

2.3.2. Infiltratieproefveld 'De Runde'

In het jonge veenkoloniale gebied van het waterschap 'De Runde' nabij Emmercompascuum is een proef opgezet om door middel van het opzetten van wijkpeilen water te infiltreren in de tussenliggende percelen. De bodem bestaat ter plaatse uit 30 cm bolsterlaag, liggend op mosveen welke op 100 cm diepte overgaat in zwak lemig zand. Het doel van het opzetten was vast te stellen of de grondwaterstandsverhoging van invloed was op de gewasproductie. In de proef werden de grondwaterstanden verhoogd tot 130 à 140 cm - mv. Daarbij



Afb. 9 - Het verloop van:

A. De gemiddelde grondwaterstand gedurende de periode 8-5-1973 - 9-7-1973 in een jonge veenkoloniale grond nabij Emmercompascuum (waterschap 'De Veenmarken') zoals gemeten in het veld, met een elektrisch model bepaald en volgens verg. (9) theoretisch berekend.

B. Het drukhoogteverlies tengevolge van de radiale stroming uit iedere wijk afzonderlijk en het gesommeerde drukhoogteverlies.

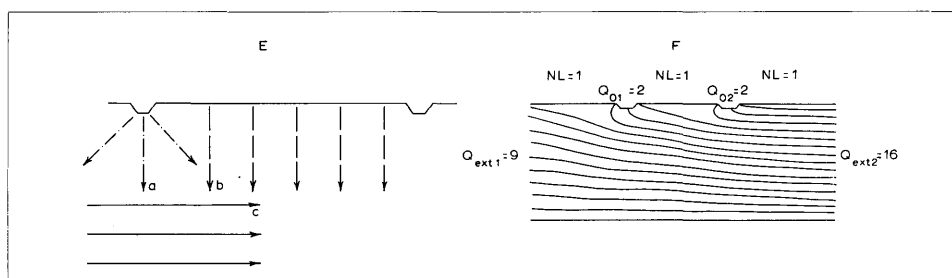
C. Het drukhoogteverlies tengevolge van afvoer uit het profiel door het freatisch vlak.

D. Het drukhoogteverlies tengevolge van de stroming in het diepe pakket.

De som van het verloop van de afzonderlijke componenten in afb. 9 B, C en D geven het theoretische verloop van de totale drukhoogte weer (zie afb. 9 A).

E. Schema van het verloop van de stromingscomponenten afzonderlijk: a = radiale stroming, b = afvoer door het freatisch vlak en c = horizontale diepe stroming.

F. Schema van de totale stroming (bewerkt naar gegevens van Homma, 1976).



bleek de radiale weerstand van de wijken zodanig te zijn dat de helft van de peilverhoging in de wijken werd gebruikt voor de overwinning van deze weerstand. Uit het waterbalansonderzoek gedurende de teelten van aardappels en tuinbonen in 1972 en 1973 werd gevonden dat deze

verhoging weinig of geen effect heeft gehad op de voor de verdamping beschikbare hoeveelheid water. Aangezien de totale verdamping gedurende elk van deze perioden kleiner was dan de som van neerslag en de door de onverzadigde grond geleverde hoeveelheid vocht, mocht echter ook weinig

effekt worden verwacht. Op grond van theoretische berekeningen omtrent de maximale hoeveelheid water die beschikbaar komt voor de verdamping van een gewas gedurende een aantal dagen bij een gegeven kans op neerslag, dikte van de wortelzone, diepte van de grondwaterstand en de hydrologische eigenschappen van de grond, kan zowel een diepst als een hoogst toelaatbare grondwaterstand worden berekend (zie bijv. Feddes, 1971). Voor aardappels met een wortelzone van 30 cm en een verdampings-behoefte van 310 mm liggen deze waarden bij respectievelijk 60 cm en ongeveer 1,00 à 1,20 m - mv (Van der Spelt, 1974). De capillaire opstijging naar het gewas mag bij opgezette grondwaterstanden van 130 à 145 cm - mv vrij klein geacht worden: ± 10 mm over het totale groeiseizoen.

Uit de waterbalansmetingen gedurende 1972 en 1973 bleek er een netto afvoer uit het profiel te bestaan terwijl er tevens een netto infiltratie vanuit de wijken plaats vond. Dit duidde erop dat water naar de ondergrond verdween. Teneinde een inzicht te verkrijgen in dit probleem werd een elektrisch analogon gebouwd (Homma, 1976). Met behulp van gegevens van infiltratie vanuit de wijk en afvoer door het freatisch vlak gedurende de proefperiode 8/5 - 9/7 1973, werd een zodanig model geconstrueerd dat de in het model gemeten potentiaal langs de bovenrand in overeenstemming was met de gemiddelde grondwaterstand over de proefperiode. Dit bleek realiseerbaar voor een $kD = 1200 \text{ m}^2 \cdot \text{dag}^{-1}$. In afb. 9A is een vergelijking gegeven van de gemiddelde grondwaterstand gemeten in het veld en het met het model verkregen grondwaterstandsvlak. Deze situatie behoort bij een gemeten infiltratie $Q_0 = 0,2 \text{ m}^2 \cdot \text{dag}^{-1}$ en een gemeten flux door het freatisch vlak $q_{fr} = -0,2 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{dag}^{-1}$. Theoretisch bleek het stromingsbeeld te kunnen worden beschreven met verg. (9) welke de drukhoogte benodigd voor de totale stroming opsplijt in 3 delen: een gedeelte voor de radiale stroming vanuit de wijk (h_{rad}), een gedeelte voor de horizontale stroming teneinde de flux door het freatisch vlak af te kunnen voeren (h_{hor}) en een gedeelte voor de externe stroming in het diepe pakket om het water onder de wijken door te voeren (h_{ext}).

Verg. (9) luidt:

$$\Delta h_{\max} = \Delta h_{rad} + \Delta h_{ho} + \Delta h_{ext}$$

$$= Q_0 w - \frac{q_{fr} L^2}{8 kD} + \frac{Q_{ext} L}{kD} \quad (\text{m}) \quad (9)$$

waarin Δh_{\max} het verschil is tussen het peil in de hoogste wijk en de diepste grondwaterstand in het perceel en Q_{ext} is de horizontale stroomsnelheid ($\text{m}^2 \cdot \text{dag}^{-1}$) in het diepe pakket.

In afb. 9B is het theoretisch verloop van het drukhoogteverlies ten gevolge van de radiale stroming vanuit iedere wijk als functie van de afstand getekend. Bij elkaar opgeteld geeft dit Δh_{rad} .

Afb. 9C geeft het verloop van Δh_{hor} en afb. 9D van Δh_{ext} .

De drukhoogtes van de afb. 9B, C en D bij elkaar opgeteld moeten dan de gemeten grondwaterstand benaderen (zie afb. 9A) hetgeen redelijk klopt. Het blijkt dat het totale drukhoogteverlies als volgt verdeeld is:

$$\Delta h_{\max} = 0,09 + 0,003 + 0,05 \quad (\text{m})$$

(rad) (hor) (ext)

waaruit blijkt dat 63 % van de totale drukhoogte benodigd is voor radiale stroming vanuit de wijk, 35 % voor de horizontale diepe stroming en een verwaarloosbaar klein deel (2 %) voor de afvoer uit het profiel. Berekend werd dat $w = 0,2 \text{ dag} \cdot \text{m}^{-1}$ en $Q_{ext} = 0,65 \text{ m}^2 \cdot \text{dag}^{-1}$.

In afb. 9E is schematisch aangegeven hoe de stroming van iedere component afzonderlijk zou verlopen, terwijl afb. 9F een schetsmatig voorbeeld van het verloop van het totale stromingsbeeld geeft. De stroming gaat onder de wijken door in de richting van zuid naar noord en wordt mogelijk beïnvloed door de grondwateronttrekking nabij Emmen.

2.4. Slotopmerkingen

Eventuele beperkingen in het infiltrerend vermogen van leidingen of drainbuizen liggen dikwijls in de grootte van de radiale weerstand van het systeem. Deze weerstand neemt in de regel toe met de tijd, als gevolg van verstopping van de poriën van het systeem door afzetting van slib en organische stof. Door regelmatig schoonmaken kan de infiltratiecapaciteit tijdelijk worden opgevoerd. Fonck (1973) vond uit onderzoeken aan watervoerende leidingen in het Waterlandschap Salland dat het 5 à 10 cm dikke sliblaagje op de bodem van de leiding een doorlatendheid had van $0,04 \text{ m} \cdot \text{dag}^{-1}$ tegen een waarde van $4,10 \text{ m} \cdot \text{dag}^{-1}$ van het ongestoorde profiel, dat wil zeggen een faktor 100 lager. Dit legt sterke beperkingen op aan het infiltratievermogen van de leidingen. Bij $L = 300 \text{ m}$ en een peilverhoging van 50 cm berekende Fonck een infiltratie van $2,5 \text{ mm} \cdot \text{dag}^{-1}$. Bij terugbrengen van deze verhoging tot 20 cm reduceerde de infiltratiesnelheid tot $0,5 \text{ mm} \cdot \text{dag}^{-1}$.

Van der Weerd (1974) heeft wegzijgingsmetingen verricht in het Oranjekanaal bij Emmen, waar het kanaalpeil ruim 4 m boven het grondwaterniveau ter plaatse ligt. Het wegzijgingsverlies bleek slechts tussen 1,7 tot $8 \text{ m}^3 \cdot \text{dag}^{-1}$ per 100 m kanaallengte te bedragen, als gevolg van een k-faktor van de verdichte kanaalbodem van minder

dan $0,001 \text{ m} \cdot \text{dag}^{-1}$. Boels (1974) heeft een infiltratieproef met een drain in Veluwezand uitgevoerd, waarbij bleek dat de infiltratiesnelheid na 55 dagen slechts 0,25 van de oorspronkelijke snelheid was. De oorzaak hiervan was verstopping tengevolge van gelvorming tussen in het infiltratiewater aangevoerde Si-verbindingen met in het zand aanwezige Al- en Fe-verbindingen.

Uit de vorm van de grondwaterspiegel kan worden afgeleid dat het water meer weerstand ondervindt bij infiltratie dan bij afvoer. De verklaring hiervoor is dat bij infiltratie het doorstroomde profiel kleiner is en dat de sliblaag in de 'infiltratie' richting meer weerstand biedt dan in de 'drainage'-richting.

Volgens Sieben (pers. meded.) moeten drainbuizen in de zomer droog liggen om 's winters beter te kunnen functioneren. Buizen die zowel voor drainage in de winter als infiltratie in de zomer worden gebruikt, blijken dikwijls problemen te geven.

3. Grondverbetering

Op een aantal profielen wordt verdroging van gewassen veroorzaakt door een te ondiepe beworteling. Als voorbeelden hiervan kunnen worden genoemd de zand (ontginnings) gronden, de dunne klei op zandgronden en de veenkoloniale gronden. In die gevallen waarbij men geen water naar de wortels kan brengen door bijv. de grondwaterstand te verhogen, kan men proberen het omgekeerde te doen, namelijk de bewortelingsdiepte vergroten door middel van grondbewerking. Dit biedt het voordeel dat ten behoeve van de huidige ver doorgevoerde mechanisatie de grondwaterstand in het voorjaar diep ($\geq 1 \text{ m} - \text{mv}$) kan blijven en de vochtvoorziening toch kan worden vergroot. Dit laatste gebeurt op twee manieren: de beschikbaarheid van vocht in de doorwortelde zone wordt vergroot doordat aan een groter grondvolume water wordt onttrokken en de afstand tussen wortelzone en grondwater wordt verkleind waardoor meer water via capillaire opstijging ten goede aan de plant kan komen. Uit onderzoek van o.a. De Vries (1974) blijkt dat bij de zandgronden de oorzaak van een te ondiepe beworteling een te dichte pakking van de humusloze ondergrond is waardoor de wortels er niet in kunnen doordringen en beperkt blijven tot de humeuze bouwvoor. Vergroting van de bewortelingsdiepte door de ondergrond los te maken, komt neer op een vochtwinst van 5 à 8 mm per 10 cm. Belangrijker is echter dat de afstand wortelzone - grondwater wordt verkleind. Voor een leemarme zandgrond bedraagt bij een afstand van 60 cm de capillaire opstijging ongeveer $1 \text{ mm} \cdot \text{dag}^{-1}$. Wordt de afstand groter, bijv. 80 cm

dan valt de snelheid van de capillaire aanvoer terug tot $0,2 \text{ mm} \cdot \text{dag}^{-1}$. Dit wijst er al op dat wanneer de grondwaterstand als gevolg van bijv. waterwinning te diep wegzakt het effect van deze compenserende maatregel snel te niet wordt gedaan. Toepassing van grondverbetering door woelen komt vooral in aanmerking voor de 300.000 ha veldpodzolgronden die laag gelegen zijn, dit wil zeggen niet al te hoog boven het grondwater.

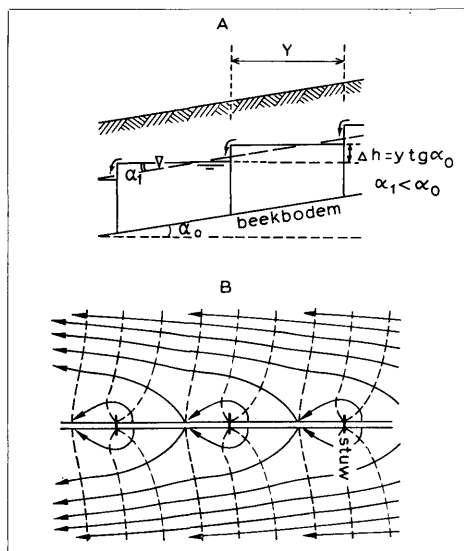
Bij de dunne klei op zandgronden (plaatgronden) is door de dichte pakking de beworteling beperkt tot het kleidek.

Door menging van de zandondergrond en de kleibovengrond met een mengrotor kan de bewortelingsdiepte worden vergroot. Ook hier mag de grondwaterstand niet te diep wegzakken (zie Wind, 1969).

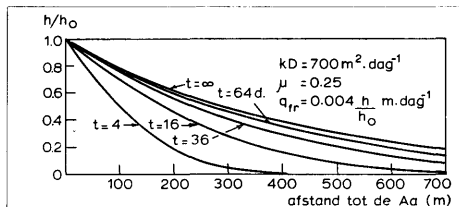
Bij de veenkoloniale gronden kunnen we een onderscheid maken in de zand- en de veengronden. De eerste categorie betreft de meer hooggelegen gronden waar onder de bouwvoor een veenlaag van 0 - 20 cm voorkomt. De mechanische weerstand voor wortelindringing in de zandondergrond kan door diep losmaken met behulp van een mengwoeler worden opgeheven. Door de diepere beworteling wordt ook hier de capillaire nalevering vanuit het grondwater van belang. Bij de tweede categorie wordt de bewortelingsdiepte beperkt doordat het 20 - 100 cm dikke veen onder de bouwvoor te zuur is, dit wil zeggen een te lage pH heeft. Ook kunnen vaste lagen in het profiel storend werken op zowel de beworteling als het doorlatend vermogen van de grond. Door vermenging van het veen met de bouwvoor en zandondergrond met behulp van diepploegen of beter nog met mengwoelen wordt de zure werking van het veen en de nadelige invloed van vaste bodemlagen opgeheven, en wordt het organische stofgehalte van de bouwvoor teruggebracht. Dit laatste vergroot de draagkracht en beperkt de nachtvorstgevoeligheid van de bouwvoor (bijv. Wind, 1969; De Vries, 1974).

4. Conservering van grondwater

Anders dan in de vlakke gebieden is peilbeheersing in de hellende gebieden zoals die voorkomen in het oosten van ons land, niet zo gemakkelijk. Dit is een gevolg van voorkomende grote hoogteverschillen en de sterke helling van het terrein, zowel volgens de lengte-as van de beek als loodrecht op de beek. Normalerweise stroomt het water uit de hoge zandige gronden ondergronds naar de beekdalen en wordt niet meer aangevuld. Om deze afstroming te belemmeren worden dikwijls stuwen geplaatst, waardoor een zekere conservering van water in het hoge gebied optreedt. Naast dit conserverings-



Afb. 10 - A. Lengteprofiel van een gestuwde beek met wateraanvoer in de bovenloop. De open waterspiegel wordt van stuw tot stuw voorgesteld door een rechte lijn met kleine helling. B. Beeld van de stroom- en equipotentiaallijnen van het grondwater bij de gestuwde beek (naar Ernst, 1972).



Afb. 11 - De voortplanting van een plotselinge peilverandering ($\Delta h_0 = 1 \text{ m}$) in de beek op de grondwaterstand (h) in het veld, waarbij rekening is gehouden met een toename van de capillaire opstijging vanuit het grondwater naar het gewas (naar Ernst, 1959).

effect zal door het handhaven van hogere stuwpeilen ook infiltratie vanuit de beken plaatsvinden. Meestal is het slotenstelsel en de beschikbaar hoeveelheid water onvoldoende om alle hiervoor in aanmerking komende gronden van water te voorzien. In droge perioden daalt dan het peil in de leidingen beneden het voor een optimale watervoorziening gewenste stuwpeil, zodat extra water van buiten het gebied ingelaten zal moeten worden om deze daling te compenseren. Men kan daarbij tevens overwegen om een deel van de hogere gronden in het wateraanvoerstelsel te betrekken.

In een dergelijke situatie is er eigenlijk meer sprake van infiltratie vanuit de hoofd- en zijleidingen ter compensering van grondwaterstands dalingen dan van waterconservering. Afb. 10A geeft een lengteprofiel van een gestuwde beek met wateraanvoer in de bovenloop waarbij de stroomsterkte afneemt in stroomafwaartse richting. Afb. 10B geeft een beeld van de stroom- en equipotentiaallijnen van het grondwater.

Door Ernst (1972) is een formulering voor de schatting van de effecten van opstuwingen op de grondwaterstroming naast de beek gegeven. Bij stationaire situatie geldt:

$$\frac{Y}{7,5 KDw} = \sin h \left(\frac{3,75 \Delta Q}{KD \Delta h} \right) \quad (10)$$

waarin ΔQ ($\text{m}^3 \cdot \text{dag}^{-1}$) is de verandering in afstroming naar één zijde van de beek tengevolge van de opstuwing.

De betekenis van Y en Δh is weergegeven in afb. 8B. Voor het geval dat $(Y/2KDw) < 5$, kan ook worden gebruikt:

$$2 \Delta Q = \frac{Y \Delta h}{15 w} = \left(\frac{Y^2 \tan \alpha_0}{15 w} \right) \quad (\text{m}^3 \cdot \text{dag}^{-1}) \quad (10a)$$

Voorbeeld:

$\tan \alpha_0 = 1/2000$; $\Delta h = 1 \text{ m}$; $Y = 2000 \text{ m}$; $kK = 2000 \text{ m}^2 \cdot \text{dag}^{-1}$; $w = 0,5 \text{ dag} \cdot \text{m}^{-1}$. Substitutie in (10a) levert $2 \Delta Q = 267 \text{ m}^3 \cdot \text{dag}^{-1}$, hetgeen overeenkomt met vermeerdering van de infiltratie door opstuwing van $0,2 \text{ mm} \cdot \text{dag}^{-1}$ over een oppervlakte van 133 ha.

De algemene vraag die zich bij de opstuwing voordoet is: welke grondwaterstandsverhoging kan er worden gerealiseerd en hoeveel tijd is daarvoor nodig. Door Ernst (1959) is de invloed van een plotselinge peilverandering (van 1 m) in de beek op de grondwaterstand uitgerekend (afb. 11).

Het blijkt dat in de gronden vlakbij de beek de grondwaterstand belangrijk kan worden verhoogd. Daar de gronden hier vaak laag gelegen zijn zullen gewassen door een toename in de capillaire opstijging goed van de peilverhoging kunnen profiteren. Voor de verder van de beek af gelegen gronden is dit niet het geval. Uit afb. 11 blijkt dat het meer dan 2 maanden duurt voordat de grondwaterstand op een afstand van 500 m met 25 cm is gestegen. Daarbij komt nog dat door de hogere ligging van deze gronden de afstand tussen wortelzone en grondwaterstand zodanig groot is, dat eventuele capillaire opstijging zeer klein zal zijn.

Deze vertraagde reactie van het grondwater-niveau, in combinatie met het feit dat toekomstige weersomstandigheden moeilijk te voorspellen zijn, maken een efficiënt stuwbeheer in de praktijk moeilijk. Meestal wordt volgens ervaring gewerkt, of volgens een vast systeem, of men zoekt aanpassing aan de weersomstandigheden door het stuwpeil telkens te veranderen. In het laatste geval moet men rekening houden met gevaaren voor de stabiliteit van de taluds en voor erosie. Het beste lijkt het het stuwbeheer te baseren op het grondwaterstandsverloop en de relatie tussen beekpeil en grondwaterstand (bijv. Bon, 1971). In het geval dat

water van elders wordt ingelaten, wordt het stuwbeheer eenvoudiger doordat men zich dan op de droge perioden kan richten. Door Hellinga (1969) wordt vermeld dat in de toekomst in totaal 350.000 ha zandgrond door wateraanvoer van elders en door peilbeheersing van water zal moeten worden voorzien.

5. Berekening vanuit putten of leidingen

Voor gronden die hoog liggen en geen waterafvoerstelsel hebben, komt vanwege de kosten aan aanleg van sloten en drains en egalisatie, infiltratie niet in aanmerking (Oostra, 1964). Men is dan aangewezen op beregning, waarbij het water dan beter via putten uit de ondergrond kan worden gepompt dan worden aangevoerd met een speciale transportleiding. Wanneer onttrekkingen met putten systematisch en op grote schaal plaatsvinden, kunnen deze grondwaterstands dalingen veroorzaken die schadelijk kunnen zijn voor de gewasopbrengsten op de lager gelegen gronden. Tevens kan concurrentie optreden met aanwezige grondwateronttrekkingen ten behoeve van industrie- en drinkwatervoorziening.

De gronden waarop beregning van toepassing is beslaan ongeveer een oppervlakte van 100.000 ha (Hellinga, 1969).

Op de lagere gronden zijn dikwijls reeds sloten en drains aanwezig die ook voor de aanvoer kunnen worden gebruikt, waardoor de investeringskosten relatief laag zijn.

De keuze van of beregning of infiltratie vanuit de leidingen moet dan worden gemaakt in afhankelijkheid van factoren als vlakke ligging, radiale weerstand, bodemgesteldheid, etc. Als voorbeeld van een dergelijk geval kan het onderzoek dienen dat in de ruilverkaveling de 'Astense Aa' is opgezet om in een tweetal proefgebieden de invloed van extra wateraanvoer op de grondwaterstand na te gaan.

Daarbij bleek dat in het noordelijke gebied één gedeelte voorkwam waar infiltratie een redelijke grondwaterstandsverhoging te zien gaf en een ander gedeelte in sterk doorlatende grond waar wegzijgingen tot 7 mm uit de beken werden gemeten, en op enkele meters uit de leidingen al geen effect op de grondwaterstand meer werd geconstateerd. In dit laatste geval zal dan moeten worden beregend. Voor het zuidelijk proefgebied werd aangetoond dat er op de leemhoudende gronden voornamelijk afvoer naar de leidingen plaatsvond en dat infiltratie niet nodig was (Bon, 1974). In dit verband kan nog het onderzoek worden genoemd dat een werkgroep van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding in een gebied bij Deurne heeft gedaan naar de optimale onderlinge verhouding tussen mogelijke cultuurtechnische

verbeteringen zoals infiltratie, drainage, beregning, e.d. die in het gebied moesten worden toegepast. Daar werd gevonden dat de meest optimale oplossing zou zijn dat 5 % van het gebied moest worden gedraineerd, 69 % onveranderd moest worden gelaten, 0 % moest worden geïnfilteerd, 8 % moest worden beregend uit sloten en 18 % van het gebied moest worden beregend uit putten (Working Party, 1968).

De beregning heeft de laatste tijd, onder invloed van zich sterk wijzigende economische omstandigheden, een grote vlucht genomen. De installaties worden vooral op de gespecialiseerde bedrijven, met name in de tuinbouw, sterk gemechaniseerd. Hierbij staat de besparing aan arbeidslonen voorop, doch tevens de wens op basis van waterhuishoudkundige en klimatologische indicatoren op het juiste moment water te geven. Op rundveehouderijbedrijven met hoge veebezettingen kan men zich geen produktiebeperkingen door vochttekorten veroorloven, en wordt een regeninstallatie als noodzaak gezien. Ook de vollegrondstuinbouwbedrijven waar men met meerdere, intensieve (contract)teelten per seizoen werkt, gebruikt men regeninstallaties voor bestrijding van vochttekorten, bij kieming en aanslag, kwaliteitsbeheersing, nachtvorstbestrijding, ziektebestrijding, etc. en vormt de rentabiliteit van een regeninstallatie geen punt. Dit is nog wel het geval bij de specifieke akkerbouwbedrijven en het gemengde gezinsbedrijf. Kouwe (1975) citeert berekeningen van Baars uit 1972 voor bedrijven in N.O.-Nederland waarvan de totale exploitatiekosten voor beregning afhankelijk van de uitvoering van de installatie varieerden van f 358 tot f 451/ha, en waarvan in geen van de gevallen een voordelig saldo voor beregning werd verkregen. Het is mogelijk dat in de toekomst bij een toenemende intensivering dit anders zal komen te liggen.

6. Ontwatering door middel van wateronttrekking aan diepe putten

Bij de ontwatering van landbouwgronden kan men naast de klassieke methode van drainage door middel van sloten en drainbuizen ook denken aan ontwatering door middel van onttrekking met pompputten. In een dergelijk geval zijn zowel de belangen van de landbouw als van de drinkwatervoorziening gediend. Dit geldt bijv. voor situaties waar de gronden van nature door hoge grondwaterstanden te nat zijn, of waar een kwelstroming optreedt. Een voorbeeld van het laatste werd gevonden bij het pompstation 'Bremerberg' gelegen in Oostelijk Flevoland ter hoogte van Nunspeet. Het ondiepe watervoerend

pakket wordt hier gevoed door inzijging vanuit het Veluwemeer, door kwel vanuit de diepe watervoerende laag en door de neerslag. Afvoer vindt plaats door verdamping en aanwezige ontwateringsstelsels. Er werd berekend (Van den Berg en Ven, 1972) dat uitbreiding van de winning van 4 tot 8 miljoen m³ . jaar⁻¹ in gebieden zonder de Eemkleilaag grondwaterstandsverlagingen in het ondiepe watervoerende pakket van ongeveer 25 cm zou veroorzaken. Nu bleek echter dat een in het gebied nieuw aangelegde drainage welke eenzelfde potentiaalsdaling veroorzaakte, meer dan een verdubbeling van de afvoer van kwelwater te zien gaf. Dit wil zeggen dat uitbreiding van de winning slechts zal resulteren in een afname van de kwelaanvoer naar de detailontwatering en niet in een verlaging van de grondwaterstand.

Een ander voorbeeld van een gebied waar men van plan is te ontwateren met behulp van putten is het Espelose Broek. In dit gebied komen ca. 260 ha slecht draagkrachtige en slecht doorlatende gronden voor, waarvan men het profiel wil verbeteren en de grondwaterstanden verlagen. Na vergelijking met een 3-tal conventionele methoden werd mede vanwege de beperkte invloed op het randgebied, gekozen voor verbetering van de ontwatering door middel van diepe putten, waarbij het bestaande ontwateringsstelsel intact werd gelaten (Werkgroep Espelose Broek, 1975). In droge perioden in de zomer, wanneer geen afwateringbehoefte in het landbouwgebied bestaat, zal men de onttrekking moeten verminderen of geheel stoppen. Een alternatieve methode is die waarbij men overschakelt naar een pompstation in een hoger gelegen gebied waar de grondwaterstanden zo diep zijn dat onttrekking geen directe invloed op de landbouw heeft. Door periodiek niet te pompen zou enige aanvulling van het grondwater in hoger gelegen gebieden weer mogelijk zijn. Een voorbeeld hiervan in de praktijk is de wateronttrekking door de pompstations Manderveen en Manderheide. In perioden met een neerslagoverschot pompt men met het pompstation Manderveen dat gelegen is in een gebied met lage, venige gronden waar de grondwaterstand zich praktisch het gehele jaar boven 1 m - mv bevindt. In perioden met een verdampingoverschot verlegt men het zwaartepunt van de onttrekking naar het pompstation Manderheide dat gelegen is temidden van hoge gronden met een diepe grondwaterstand (Cogrowa, 1975). Wat betreft het genoemde geval Espelose Broek ligt het in de bedoeling dat in droge perioden het pompstation te Espelo de winning zal overnemen. In het kader van een geïntegreerd, optimaal waterbeheer, zal men in het algemeen

zoveel mogelijk trachten de onttrekking naar plaats en tijd te variëren. Dit vereist extra investeringen in pompstations, waarbij naar een compromis tussen de onderlinge afstand van de putten, de te winnen hoeveelheid water en de transportkosten zal moeten worden gestreefd.

7. Conclusies

Het geheel overziende kan de conclusie zijn dat behalve in specifiek gunstige gebieden infiltratie vanuit leidingen en sloten voor de landbouw in Nederland maar van beperkte omvang zal blijven. Een van de voornaamste oorzaken hiervan is de grote drukhoogte die vaak nodig is om de radiale weerstand van het infiltratiesysteem te overwinnen. Infiltratie ten behoeve van de drinkwatervoorziening is alleen dáár goed mogelijk waar de radiale weerstand van de sloten laag is en er een goed doorlatende ondergrond aanwezig is. In dit verband zou men gezien de gunstige ervaringen met oppervlakte-infiltratie van begroeide gronden met afvalwater in de USA (Brouwer, 1974) en de vloeivelden in Tilburg, kunnen denken aan toepassing van oppervlakte-infiltratie in geschikte perioden bij bepaalde graslandgebieden, waarbij op enige afstand het water weer opgepompt kan worden. Dit vereist echter een goed samenspel tussen de landbouwer en de drinkwatermaatschappij. In hellende gebieden is infiltratie slechts effectief in een beperkte strook langs de beken, terwijl in de hoge gebieden door afwezigheid van een afwateringsstelsel deze techniek nauwelijks in aanmerking komt. Het lijkt er dan ook op dat mede door de toenemende intensivering in bedrijfsvoering, berekening vanuit putten of leidingen in de toekomst belangrijk zal gaan worden. Voor die gebieden waar droogteschade optreedt als gevolg van overmatige grondwaterwinning zou men kunnen overwegen een extra hoeveelheid water op te pompen en die via berekening aan de gewassen ter beschikking te stellen. In een aantal gevallen zal men droogteschade kunnen voorkomen door grondverbetering toe te passen, zoals nu veel gebeurt in de veenkoloniën. Ontwatering door middel van pompputten heeft reeds enige ingang in de praktijk gevonden (Espelose Broek, Manderveen en Manderheide). Voorwaarde daarbij is dat in droge perioden op een ander pompstation in een hoger gelegen gebied overgeschakeld moet kunnen worden.

Literatuur

Berg, J. A. van den en Ven, G. A. *Over de invloed van de waterwinning 'Bremerberg' op de grondwaterstanden in de nabije omgeving*. Rijksd. v. d. IJsselm.pold. Lelystad, pp. 8, 1972.

Boels, D. *Infiltratie vanuit een ondiepe drain in een grofzandig pakket met zeer diepe grondwaterstanden*. Nota ICW 814, pp. 26, 1974.
 Bon, J. *Stuwbeheer in zandgebieden*. Waterschapsbelangen, 56, 17: 255 - 262, 1971.
 Bon, J. *Grondwaterstroming in het gebied van de Astense Aa*. Nota ICW 800, pp. 41, 1974.
 Brouwer, H. *Design and operation of land treatment systems for minimum contamination of groundwater*. Groundwater, Vol. 12 (3): 140 - 147, 1974.
 Cogrowa. *Onderzoek naar de invloed van de wateronttrekking door de pompstations Manderveen en Manderheide op de stijghoogte van het grondwater*. Technisch Secr. Cogrowa, CD, Utrecht, pp. 59, 1975.
 Commissie voor hydrologisch onderzoek TNO. *Het hydrologisch onderzoek ten behoeve van het structuurschema Drink- en Industrierwatervoorziening Nederland*. Versl. en Med. Hydr. Ond. TNO, no. 16, 's-Gravenhage, 1975.
 Ernst, L. F. *Verhoging van grondwaterstanden en vermindering van afvoer door opstuwing van beken*. Versl. Med. Comm. Hydrol. Onderz. TNO, no. 3: 54 - 69, 1959.
 Ernst, L. F. *Grondwaterstromingen in de verzaagde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen*. Proefschr. Un. Utrecht, 1962.
 Ernst, L. F. *Veranderingen in de grondwaterstroming door opstuwing van consequente waterlopen*. Nota ICW 715, pp. 8, 1972.
 Feddes, R. A. *Water, heat and crop growth*. Med. Landbh. 71 - 12: pp. 184, 1971.
 Feddes, R. A. en Steenberg, M. G. van. *Infiltratie proefveld 'De Groeve'*. Nota ICW 735, pp. 59, 1973.
 Fonck, H. *Een onderzoek naar de grootte van infiltratie vanuit watervoerende leidingen in het waterschap Salland*. Nota ICW 731, pp. 22, 1973.
 Hellinga, F. *Waterhuishoudingsproblemen in Nederland*. Cult. Verh., Staatsuitg. Den Haag: 259 - 276, 1969.
 Homma, F. *Elektrisch modelonderzoek naar infiltratie vanuit evenwijdige wijken*. Nota ICW 920, pp. 52, 1976.
 Kalisvaart, C. *Watervoorziening door infiltratie en haar landbouwkundige aspecten*. Landb. Tijdschr. 69: 995 - 1008, 1957.
 Kouwe, J. J. *Enige aantekeningen betreffende de positie en toekomst van de kunstmatige beregning op het moderne land- en tuinbouwbedrijf*. Interne nota ICW, pp. 7, 1975.
 Oostra, A. D. *De opzet van wateraanvoerplannen voor Zuid-Nederlandse zandgronden*. Landb. Tijdschr. 76 - 20: 864 - 879, 1964.
 Rijtema, P. E. *Grondwaterstand, infiltratie en bodemvochtvoorraad in graslandgebieden in verband met de vaststelling van de waterbehoefte voor peilbeheersing*. Nota ICW 482, pp. 9, 1968.
 Sieben, W. H. en Smits, H. *Het verband tussen de grondwaterstand en de gewasopbrengst in het Veluwe-randgebied en de toepassing van dit verband bij de oplossing van het Veluwemeer-vraagstuk*. Basis rapport III, Het Veluwemeer. Rapp. en Med. Zuiderzeewerken, no. 7, 1969.
 Siebering, H. *Onderzoek naar de invloed van waterwinning op het infiltratieproefveld 'De Groeve'*. Scriptie LH, Wageningen, 1974.
 Spelt, T. S. B. van der. *Gewenste grondwaterstand in de Jonge Veenkoloniën*. Scriptie H.. B. C. S., Arnhem, pp. 17, 1974.
 Studiegroep Lopikerwaard. *De landinrichting van de Lopikerwaard, bodemgesteldheid en waterhuishouding*. ICW, Reg. Studies 4/II.
 Vakantiecursus drinkwatervoorziening (17e). *Kunstmatige infiltratie*. Moormans Periodieke Pers NV, Den Haag, pp. 159, 1965.
 Valk, G. G. M. van der. *Jaarverslag ICW*, pag. 44 - 45, 1971.
 Vries, Th. de. *Grondverbetering: waarom, hoe en*

met welke werktuigen I: Landb. Mech. 25 - 02: 155 - 163, II: Landb. Mech. 25 - 03: 221 - 225, 1974.
 Weerd, B. van der. *Onderzoek naar de wegzijging in het derde pand van het Oranjekanaal*. Nota ICW 826, pp. 10, 1974.
 Werkgroep wateronttrekking Espelose Broek. Voorlopig verslag CD, Zwolle, 1975.
 Wind, G. P. *Grondverbetering*. In: Cultuurtechn. Verhandel., Staatsuitg., Den Haag: 189 - 222, 1969.
 Working party. *Determination of the optimum combination of water management systems in areas with a microrelief*. Techn. Bull. ICW 56, pp. 188, 1968.
 Wijk, A. L. M. en Feddes, R. A. *Invloed van de waterhuishouding op de opbrengst van landbouwgewassen*. Nota ICW 867, pp. 43, 1975.



BIBLIOTHEEK
STARINGOEBELD